

STUDI DIFRAKSI GELOMBANG MENGGUNAKAN PERSAMAAN HIPERBOLA

Rama Kapitan¹⁾

Abstract

The deformation of wave is the change of wave characteristics that occurs when a wave propagates shoreward. One form of the deformation of wave is diffracted wave. Wave diffraction occurs when a wave is blocked by a barrier which is a breakwater or an island. As a result, the wave will turn around the tip of the barrier and heading into a sheltered area behind it. In this event, the energy transfer occurs in the perpendicular direction to the protected area. The phenomenon of wave diffraction is an important thing to consider in the harbor and breakwater design. To determine the wave diffraction pattern caused by obstacles or coastal structures, wave propagation simulation has been carried out with mathematical or numerical models for several scenarios. In this study, two-dimensional wave simulation software using hyperbolic equations has been used to model wave propagation. The result obtained from this study is the diffraction coefficient whose value which is approximately equal to the ones suggested by the Shore Protection Manual (SPM, 1984). Changes in the pattern of the wave occur after the wave propagates through a single or double breakwater. This study also investigated the changes in the wave height and the amount of dominant wave period due to the influence of the breakwater. Both events indicate the occurrence of phenomenon of diffraction.

Keywords: Two-dimensional numerical model, Diffracted wave, Hyperbolic equations.

Abstrak

Deformasi gelombang adalah perubahan sifat gelombang yang terjadi ketika ada gelombang bergerak merambat menuju ke pantai, salah satunya adalah difraksi. Difraksi gelombang terjadi bila gelombang yang datang terhalang oleh suatu penghalang yang dapat berupa bangunan pemecah gelombang (breakwater) maupun pulau. Akibatnya, gelombang akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk ke daerah terlindung di belakangnya. Dalam hal ini, terjadi transfer energi dalam arah tegak lurus ke daerah terlindung. Fenomena difraksi gelombang penting diperhatikan dalam perencanaan pelabuhan dan bangunan pemecah gelombang. Untuk mengetahui pola difraksi gelombang yang terjadi akibat rintangan atau bangunan pantai yang menghalangi, dilakukan simulasi perambatan gelombang dengan model matematik atau numerik untuk beberapa skenario. Dalam penelitian ini digunakan paket program gelombang 2D dengan menggunakan persamaan hiperbola. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah nilai koefisien difraksi yang mendekati dengan hasil yang dipresentasikan oleh Shore Protection Manual (SPM, 1984). Adanya perubahan pola gelombang yang terjadi, dimana perubahan pola tersebut terjadi setelah gelombang yang datang merambat melewati breakwater tunggal maupun ganda. Kajian ini juga melihat perubahan tinggi gelombang, dimana tinggi puncak gelombang yang terjadi berangsur-angsur menurun, serta perubahan jumlah periode gelombang dominan yang mengalami penambahan karena breakwater, hal ini menunjukkan terjadinya fenomena difraksi yang terjadi.

Kata kunci: Model numerik 2D, Difraksi gelombang, Persamaan hiperbola

1. PENDAHULUAN

Gelombang yang terjadi di alam sebenarnya sangat kompleks dan tidak dapat dirumuskan dengan akurat. Tetapi fenomena gelombang yang terjadi di alam dapat dipelajari dan dilakukan beberapa asumsi sehingga muncul beberapa teori atau persamaan gelombang.

¹⁾ Mahasiswa Program Magister Teknik Sipil Universitas Lampung. Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No 1 Gedung Meneng, Bandar Lampung.

Banyak orang yang menghitung dan memodelkan persamaan gelombang, akan tetapi tidak banyak yang dapat mensimulasikan serta mempresentasikan hasilnya dengan baik. Dalam penelitian ini, akan mencoba mensimulasikan hasil daripada persamaan-persamaan gelombang yang ada dengan bahasa pemrograman dengan berbagai skenario, serta mencoba memahami pola gelombang yang terbentuk akibat deformasi gelombang yaitu difraksi. Serta menganalisa untuk mengetahui dan memprediksi arah datangnya gelombang pada saat ia menghampiri pantai. Hal ini sangat penting dalam memahami proses dinamika pantai dan menjaga kestabilannya.

2. METODE PENELITIAN

Untuk mengetahui pola difraksi gelombang yang terjadi akibat rintangan atau bangunan pantai yang menghalangi, dilakukan sebuah simulasi dengan model matematik dengan empat macam skenario. Pada penelitian ini digunakan program Sigerd untuk mengetahui difraksi gelombang, Program Sigerd ini dikembangkan oleh Zakaria (2014). Dimana persamaan gelombang yang digunakan adalah.

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = C^2 \left[\frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \eta}{\partial y^2} \right] \quad [1]$$

Dimana,

η = fluktuasi muka air

c = cepat rambat gelombang

$c = \sqrt{g h}$

g = gravitasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji Model Perambatan Gelombang

Untuk mengetahui sejauh mana hasil dari program ini, maka dilakukan uji model perambatan gelombang membandingkan dengan *Shore Protection Manual* (SPM, 1984). Pada hasil perhitungan dengan analisa Wiegel (1964), dalam Sorensen (1978), dalam Triatmodjo (1999). untuk mendapatkan koefisien difraksi dilakukan perbandingan antara H_d dan H_p .

$$H_d = K' \cdot H_p \quad [2]$$

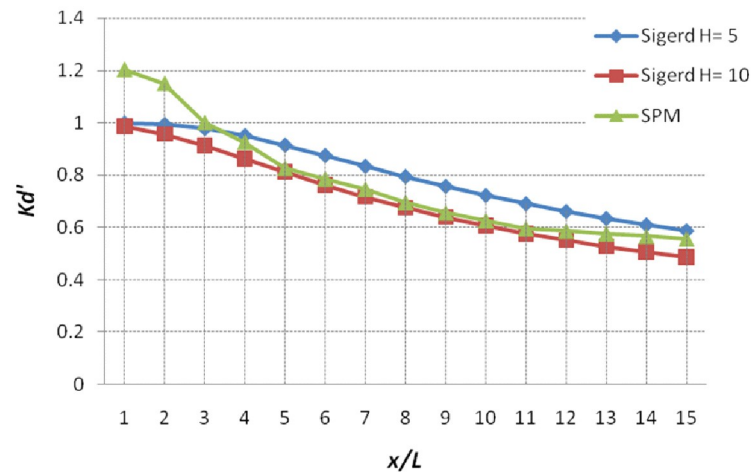
Dimana,

H_d = Tinggi gelombang terdifraksi (m)

K' = Koefisien difraksi

H_p = Tinggi gelombang datang (m)

Tipe gelombang yang dipakai adalah tipe *ricker wavelet*, Zakaria (2003). Pengujian dengan program Sigerd memperhitungkan jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut), dan kedalaman yang diuji adalah $h=5$ dan $h=10$. Dengan nilai kedalaman laut yang berbeda, memberikan pengaruh pada nilai koefisien difraksi (K_d).



Gambar 1. Grafik perbandingan koefisien difraksi terhadap x/L dari hasil program Sigerd dengan SPM (1984).

Hasil *running* keluaran program Sigerd (Gambar 1) memiliki nilai yang mendekati dengan hasil yang dipresentasikan oleh *Shore Protection Manual* (SPM, 1984). dalam Triadmodjo (1999). tidak dijelaskan secara menyeluruh, dalam hal untuk tipe dan jenis bangunan pemecah gelombang (*breakwater*), jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut), tipe gelombang datang, serta koefisien kekasaran dasar perairan.

Tabel 1. Perbandingan program Sigerd dengan SPM untuk koefisien difraksi (K')

x/L	Sigerd (H=5)	Sigerd (H=10)	SPM
1	0,9992	0,9866	1,2030
2	0,9941	0,9566	1,1500
3	0,9782	0,9131	1,0000
4	0,9513	0,8626	0,9250
5	0,9150	0,8111	0,8250
6	0,8756	0,7615	0,7850
7	0,8343	0,7167	0,7450
8	0,7952	0,6755	0,6950
9	0,7580	0,6393	0,6550
10	0,733	0,6067	0,6250
11	0,6912	0,5774	0,5950
12	0,6619	0,5509	0,5850
13	0,6351	0,5273	0,5750
14	0,6105	0,5060	0,5650
15	0,5880	0,4867	0,5550

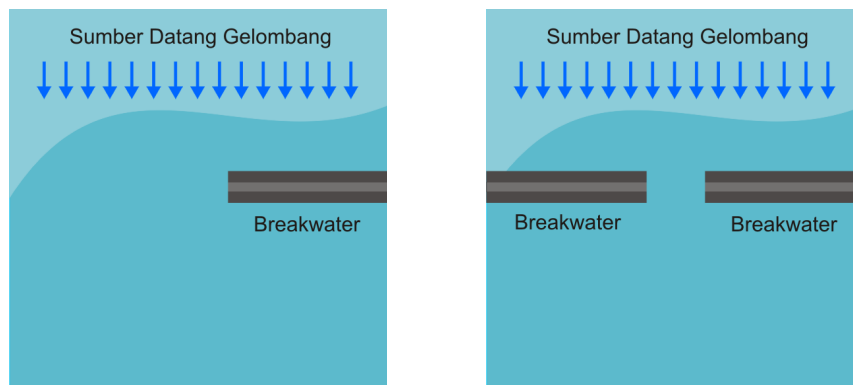
Hasil dari SPM menggunakan $B = 2L$, sedangkan hasil dari Sigerd menggunakan $B = 1,428L$. Dalam SPM gelombang yang terdifraksi merupakan gelombang sinusoidal sedangkan pada Sigerd, gelombang yang terdifraksi merupakan gelombang tunggal (*solitary*).

tary wave) walaupun kondisi antara lebar dan panjang gelombang berbeda antara hasil SPM dan Sigerd, tetapi grafik dari Gambar 1. menunjukkan bahwa hasil yang dipresentasikan hampir sama.

B. Model Perambatan Gelombang

Ada 4 (empat) skenario yang akan disimulasikan pada penelitian ini. Untuk skenario pertama *breakwater* dibentuk seperti tembok lurus dan dipasang sisi kanan dan kiri, skenario kedua *breakwater* berbentuk trapesium dan dipasang sisi kanan dan kiri, untuk skenario ketiga *breakwater* berbentuk tegak lurus lalu hanya dipasang sisi sebelah kiri sebelah. dan keempat *breakwater* dibentuk trapesium tetapi hanya satu buah atau tunggal serta dipasang sisi sebelah kiri sebelah. Skenario simulasi dapat dilihat pada Gambar 2.

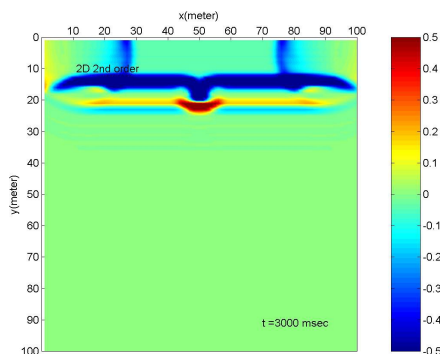
Sumber model gelombang yang dipergunakan adalah tipe Ricker Wavelet (Zakaria, 2003). Sumber gelombang yang datang sebagai gelombang garis yang memanjang sejajar dengan *breakwater*.



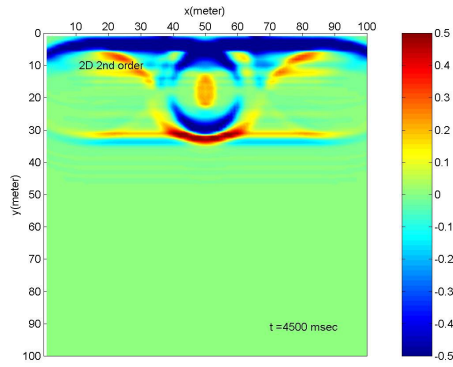
Gambar 2. Skenario untuk setting arah dan posisi sumber gelombang serta konfigurasi dan susunan *breakwater* yang dipasang, *breakwater* dipasang sisi kanan dan kiri, sedangkan skenario lainnya, *breakwater* hanya dipasang sisi sebelah kiri sebelah.

C. Hasil Perambatan Gelombang 2-D

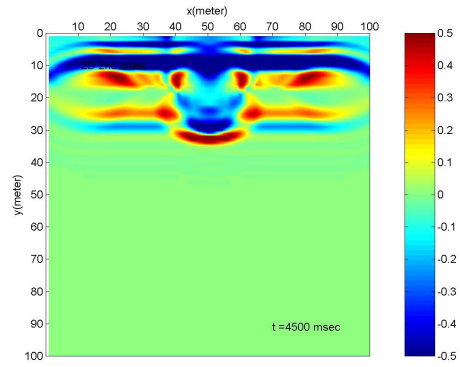
Data difraksi gelombang, didapat dengan memasukan data (*input*) ke dalam program Sigerd. Lalu hasil keluaran (*output*) yang dihasilkan, yaitu difraksi gelombang, divisualisasikan dengan menggunakan program *Matlab*. Dapat dilihat hasil pola perubahan bentuk difraksi gelombang yang terjadi di tiap-tiap skenario pada Gambar 3 s.d. 14.



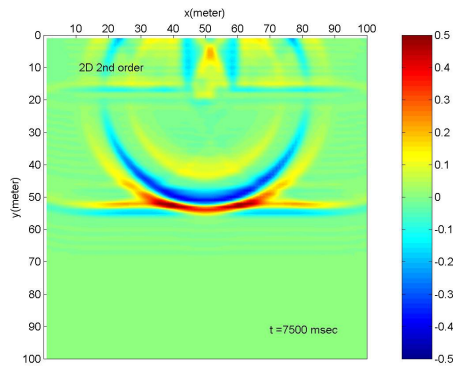
Gambar 3. *Snapshot* perambatan gelombang pada $t=3$ detik (skenario I)



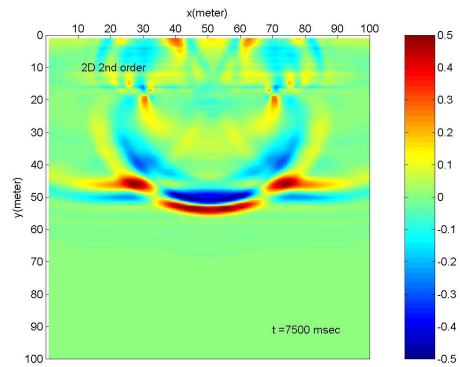
Gambar 4. *Snapshot* perambatan gelombang pada $t=4,5$ detik (skenario I)



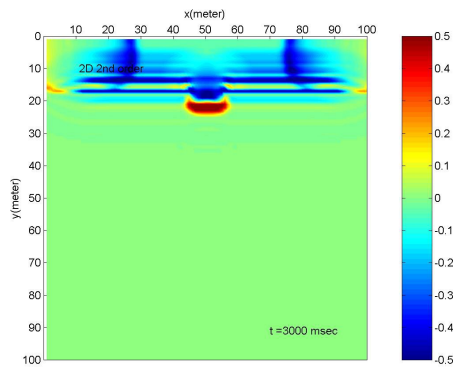
Gambar 7. *Snapshot* perambatan gelombang pada $t=4,5$ detik (skenario II)



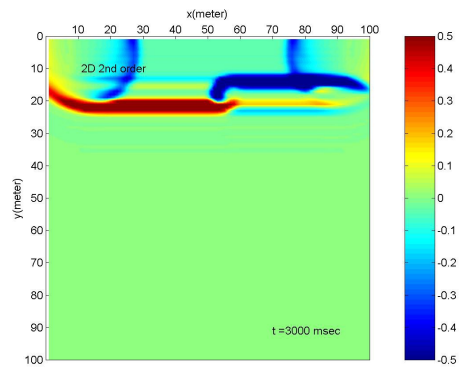
Gambar 5. *Snapshot* perambatan gelombang pada $t=7,5$ detik (skenario I)



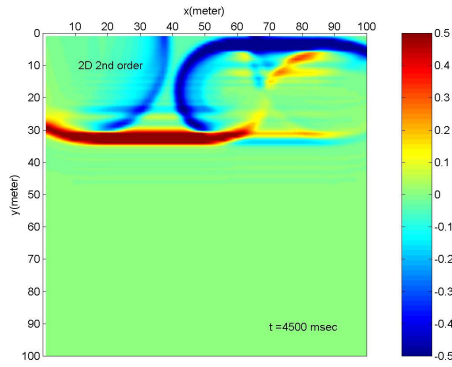
Gambar 8. *Snapshot* perambatan gelombang pada $t=7,5$ detik (skenario II)



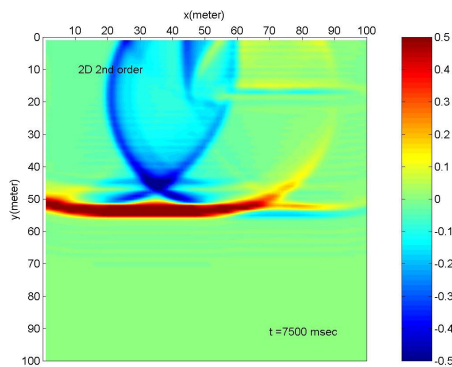
Gambar 6. *Snapshot* perambatan gelombang pada $t=3$ detik (skenario II)



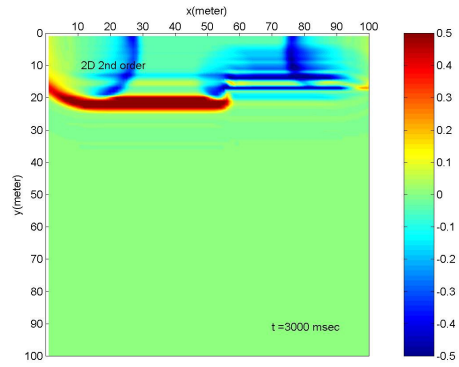
Gambar 9. *Snapshot* perambatan gelombang pada $t=3$ detik (skenario III)



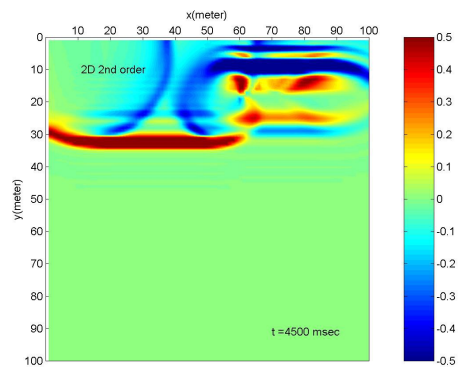
Gambar 10. *Snapshot* perambatan gelombang pada $t=4,5$ detik (skenario III).



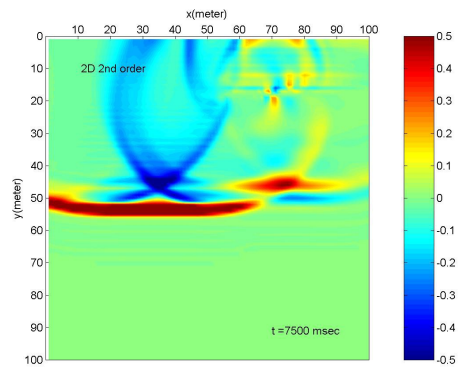
Gambar 11. *Snapshot* perambatan gelombang pada $t=7,5$ detik (skenario III).



Gambar 12. *Snapshot* perambatan gelombang pada $t=3$ detik (skenario IV).



Gambar 13. *Snapshot* perambatan gelombang pada $t=4,5$ detik (skenario IV).



Gambar 14. *Snapshot* perambatan gelombang pada $t=7,5$ detik (skenario IV)

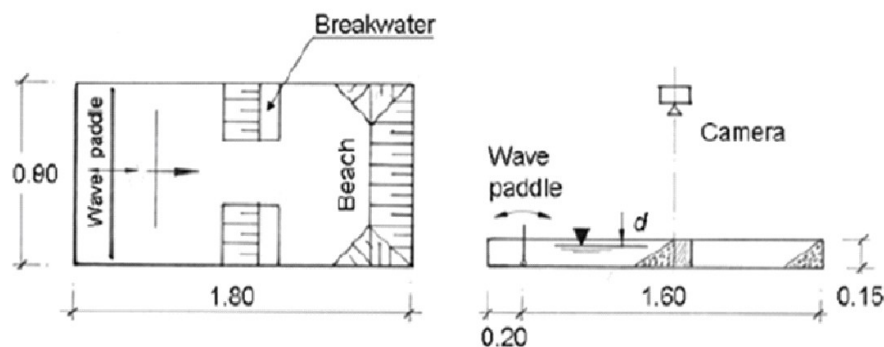
Gambar 3 s.d 14 memperlihatkan *snapshot* pada tiap-tiap skenario, dari awal gelombang datang hingga pada saat melewati *breakwater* gelombang mengalami perubahan, dan sebagian mengalami pantulan akibat *breakwater*, sedangkan lainnya meneruskan jalannya gelombang atau merambat dan mengalami pembelokan atau difraksi. Dari hasil simulasi gelombang yang datang sebelum melewati *breakwater* terlihat garis lurus berwarna merah, kemudian saat gelombang melewati celah *breakwater* terlihat gelombang mengalami perubahan, gelombang yang berwarna merah merupakan gelombang yang terus menjalar

karena tidak ada rintangan atau *breakwater* didepannya, sedangkan yang berwarna biru adalah gelombang yang mengalami pantulan atau refleksi akibat terhalang *breakwater*. Selanjutnya setelah beberapa saat melewati celah *breakwater*, gelombang mengalami pembelokan atau difraksi, yang digambarkan warna merah yang diikuti warna kuning yang semakin lama semakin menjauh dari celah *breakwater* serta ketinggian puncak gelombang mengalami penurunan.

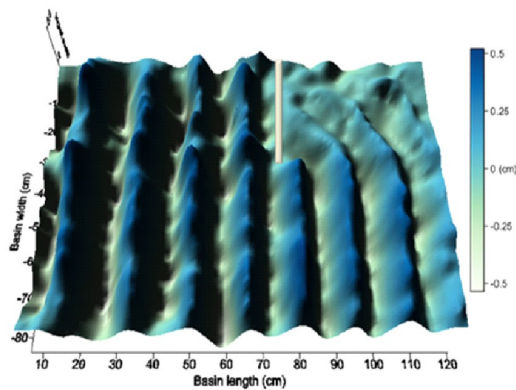
Terlihat dari penelitian pada masing-masing skenario gelombang difraksi yang terjadi, menghasilkan pola yang berbeda-beda. Untuk kedua tipe *breakwater* yaitu tegak dan trapesium, terlihat perbedaan dalam pola perubahan gelombang, baik ketinggian maupun kedalaman puncak gelombang. Serta pola difraksi yang terjadi.

Penelitian tentang difraksi ini juga pernah dilakukan oleh Vryonidi (2011) dan Stagonas (2010), mereka melakukan uji perambatan difraksi gelombang dengan model fisik. Hasil yang dipresentasikan oleh Stagonas, yang menggunakan model fisik skala mikro (*micro-modeling*), memiliki kesamaan dengan penelitian ini, dalam perambatan gelombang yang mengakibatkan difraksi gelombang.

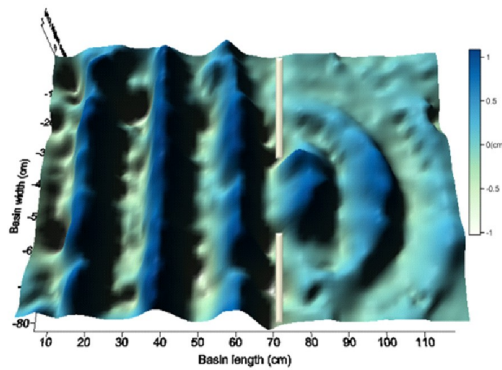
Untuk skema model fisik yang dilakukan oleh Stagonas (2010) dapat dilihat pada Gambar 15. Dimana susunan bangunan pemecah gelombang (*breakwater*) sama dengan yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu *breakwater* ganda untuk skenario I dan II, sedangkan *breakwater* tunggal untuk skenario III dan IV. Tetapi dalam model fisik Stagonas (2010), *breakwater* yang diuji menggunakan tipe trapesium saja. Bentuk difraksi gelombang yang dipresentasikan oleh Stagonas (2010) memiliki kesamaan dengan hasil difraksi gelombang pada penelitian ini. Hal tersebut dapat dilihat bentuk difraksi gelombang pada Gambar 16. hampir sama dengan bentuk difraksi gelombang yang dihasilkan pada penelitian ini yaitu pada skenario I dan II. Sedangkan bentuk difraksi gelombang pada Gambar 17. hampir sama dengan bentuk difraksi gelombang yang dihasilkan pada penelitian ini yaitu pada skenario III dan IV.



Gambar 15. Skema model fisik (Stagonas, 2010).



Gambar 16. Hasil perambatan gelombang 3D pada breakwater tunggal, (Stagonas, 2010).



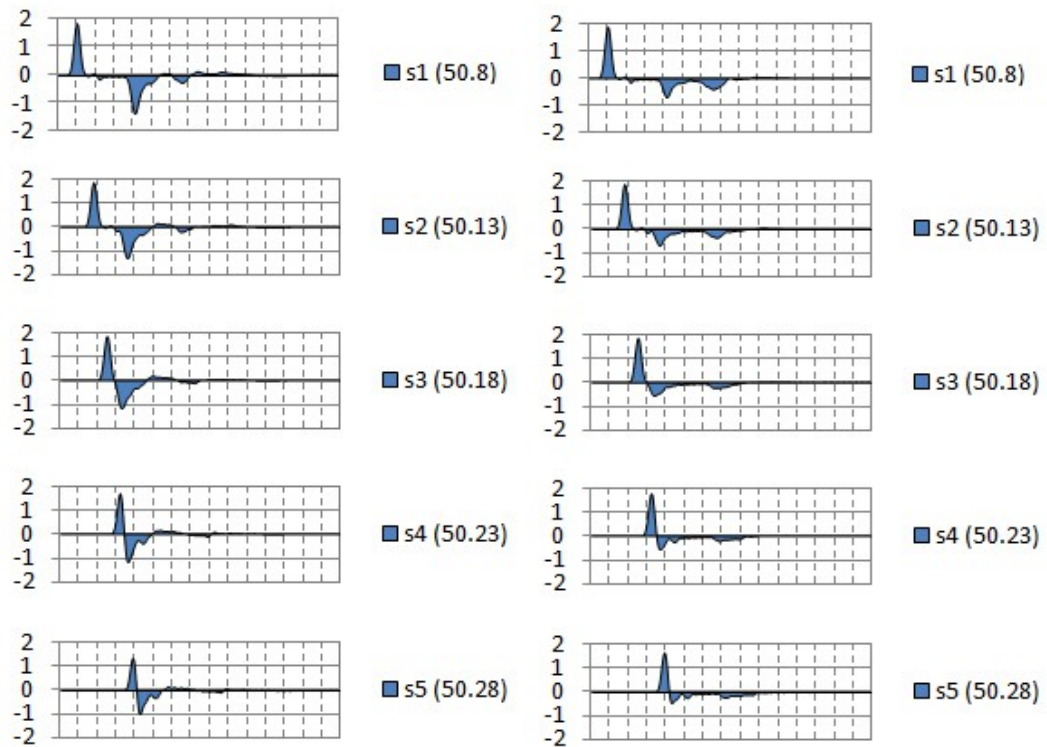
Gambar 17. Hasil perambatan gelombang 3D pada celah breakwater ganda, (Stagonas, 2010).

Pada penelitian Stagonas (2010) terlihat perubahan pola perambatan setelah melalui *breakwater*. Selain itu, skala model yang dipresentasikan oleh Stagonas (2010) jauh lebih kecil, yaitu dengan luasan 1 x 1 m, sedangkan pada penelitian ini menggunakan luasan 100 x 100 m.

Vryonidi (2011) juga melakukan penelitian perambatan difraksi gelombang dengan model fisik hampir sama dengan yang dilakukan oleh Stagonas (2010), akan tetapi hasil yang dipresentasikan dalam penelitian Vryonidi (2011), tidak terlalu jelas menggambarkan perambatan difraksi gelombang.

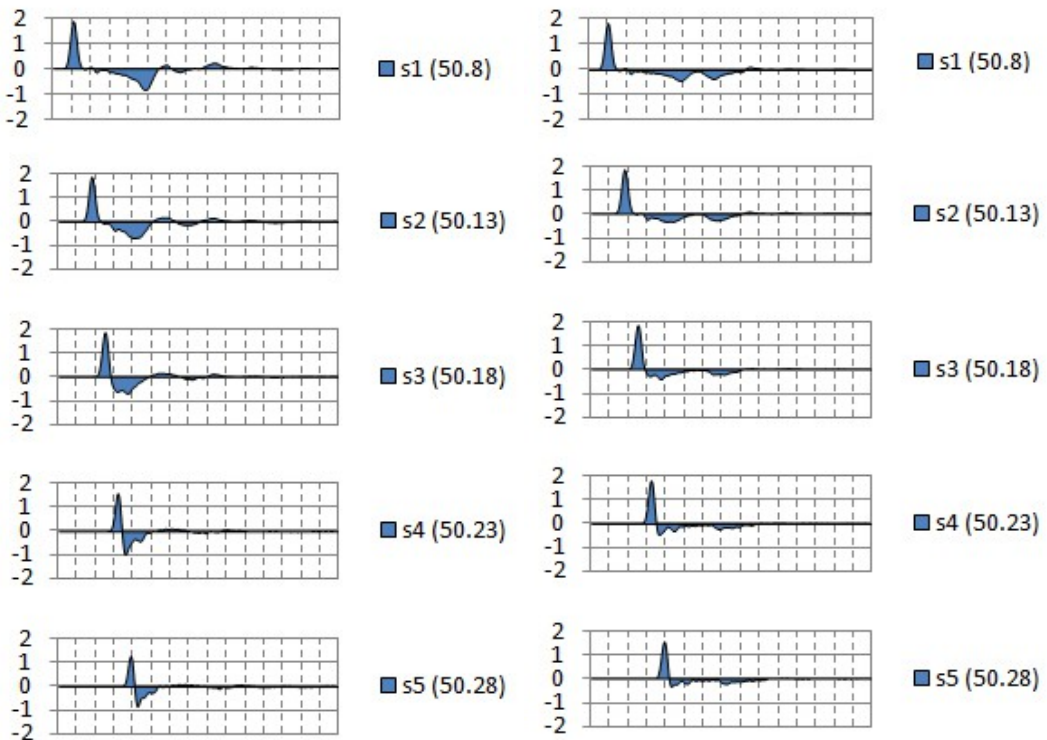
D. Hasil Analisa Tinggi Gelombang

Pada tiap skenario ketinggian puncak gelombang menghasilkan nilai yang berbeda setelah melewati *breakwater*, hal ini disebabkan baik tipe dan jenis pemecah gelombang (*breakwater*) itu sendiri. Untuk tipe lurus nilai puncak gelombang setelah melewati *breakwater* lebih besar dari tipe trapesium, ini dikarenakan energi gelombang yang datang pada tipe trapesium lebih dahulu berangsur-angsur mengalami peredaman atau pantulan.



Gambar 18. Ketinggian puncak gelombang pada skenario I di titik koordinat 50,18 s.d. 50,28.

Gambar 20. Ketinggian puncak gelombang pada skenario III di titik koordinat 50,18 s.d. 50,28.

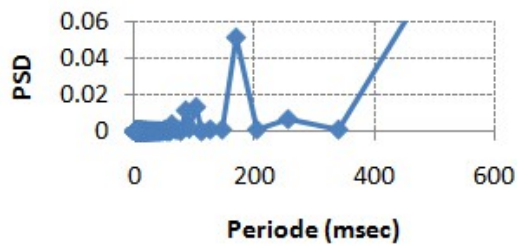


Gambar 19. Ketinggian puncak gelombang pada skenario II di titik koordinat 50,18 s.d. 50,28.

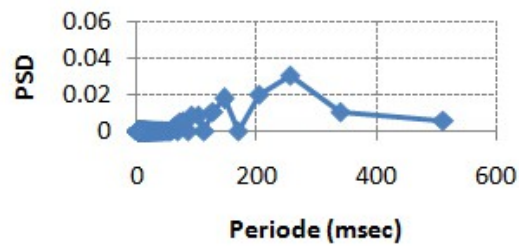
Gambar 21. Ketinggian puncak gelombang pada skenario IV di titik koordinat 50,18 s.d. 50,28.

E. Analisis Spektrum Difraksi

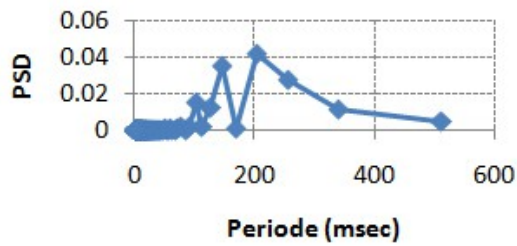
Setelah *running* dengan berbagai skenario yang direncanakan, kemudian hasil keluaran file (*.sig) dari program Sigerd, dimasukan atau diolah dengan menggunakan program *Ftrans*, lalu akan didaatkan nilai Kerapatan Spektrum Daya (*Power Spectral Density*). Berikut adalah gambar perubahan spektrum di tiap-tiap skenario.



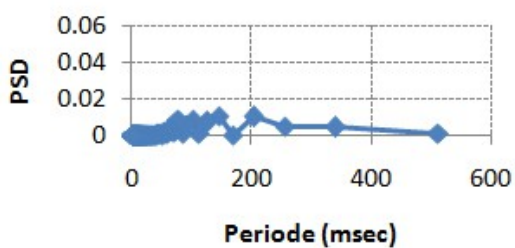
Gambar 22. Spektrum gelombang di posisi koordinat 50, 8 pada Skenario I



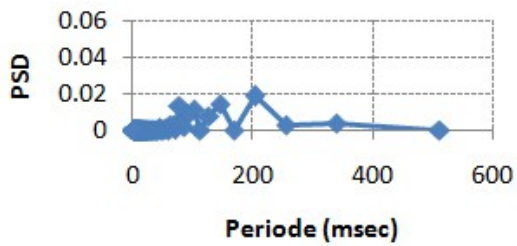
Gambar 26. Spektrum gelombang di posisi koordinat 50, 18 pada Skenario I



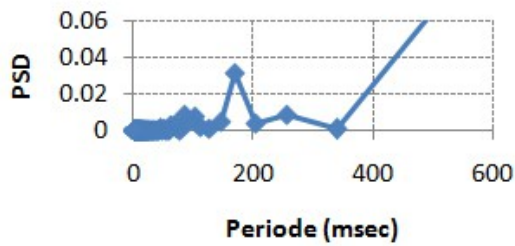
Gambar 23. Spektrum gelombang di posisi koordinat 50, 18 pada Skenario I



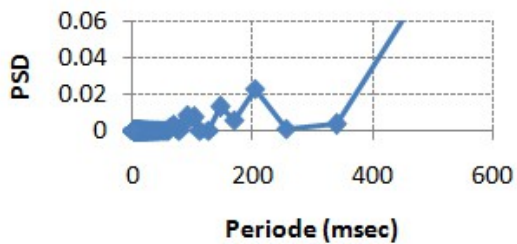
Gambar 27. Spektrum gelombang di posisi koordinat 50, 28 pada Skenario II



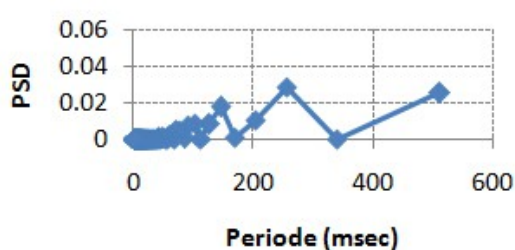
Gambar 24. Spektrum gelombang di posisi koordinat 50, 28 pada Skenario I



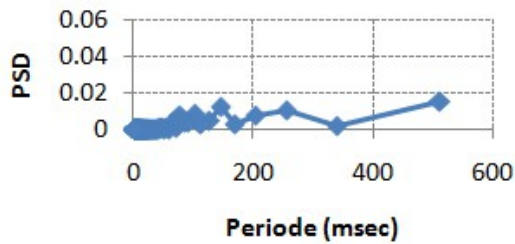
Gambar 28. Spektrum gelombang di posisi koordinat 50, 8 pada Skenario III



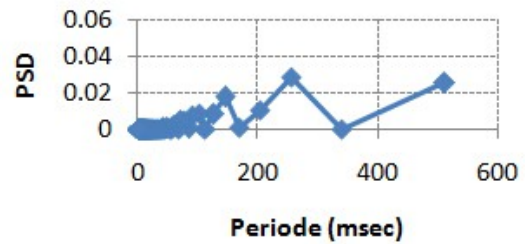
Gambar 25. Spektrum gelombang di posisi koordinat 50, 8 pada Skenario II



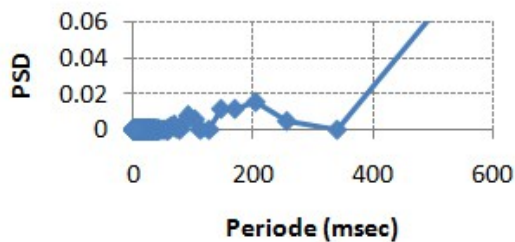
Gambar 29. Spektrum gelombang di posisi koordinat 50, 18 pada Skenario III



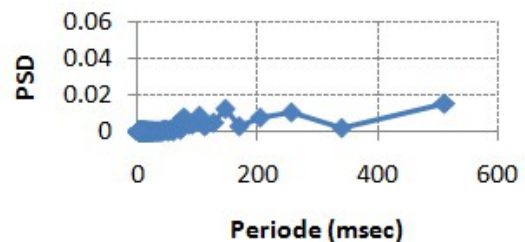
Gambar 30. Spektrum gelombang di posisi koordinat 50, 28 pada Skenario III



Gambar 32. Spektrum gelombang di posisi koordinat 50, 18 pada Skenario IV



Gambar 31. Spektrum gelombang di posisi koordinat 50, 8 pada Skenario IV



Gambar 33. Spektrum gelombang di posisi koordinat 50, 28 pada Skenario IV

Hasil analisis spektrum gelombang skenario I yang ditunjukkan pada Gambar 21., merupakan hasil grafik hasil perhitungan kerapatan spektrum daya sebelum melewati breakwater di koordinat S1 (50,8), terlihat ada tiga gelombang dominan yang terjadi. Kemudian pada Gambar 23., merupakan hasil grafik hasil perhitungan kerapatan spektrum daya di antara celah breakwater di koordinat S2 (50,18), terlihat perubahan kerapatan spektrum daya (*PSD*) yang bertambah banyak. Untuk gambar Gambar 24., merupakan hasil grafik hasil perhitungan kerapatan spektrum daya setelah melewati breakwater di koordinat S3 (50,28),

Hasil analisis spektrum gelombang yang dihasilkan pada skenario II (Gambar 25 s.d. 27) tidak jauh berbeda dengan hasil pada skenario I. Dapat dilihat jumlah untuk kerapatan spektrum daya (*PSD*) dominan yang terjadi, bertambah ketika berada diantara celah *breakwater* dan setelah melewati posisi *breakwater*.

Hasil analisis spektrum gelombang skenario III yang ditunjukkan pada Gambar 28., merupakan hasil grafik hasil perhitungan kerapatan spektrum daya sebelum melewati breakwater di koordinat S1 (50,8), terlihat ada tiga gelombang dominan yang terjadi. Kemudian pada Gambar 29, merupakan hasil grafik hasil perhitungan kerapatan spektrum daya di sebelah breakwater tunggal di koordinat S2 (50,18), terlihat perubahan kerapatan spektrum daya (*PSD*) yang bertambah banyak. Untuk gambar Gambar 30., merupakan hasil grafik hasil perhitungan kerapatan spektrum daya setelah melewati breakwater di koordinat S3 (50,28),

Skenario IV (Gambar 31. s.d. 33.) tidak jauh berbeda dengan skenario III, dapat dilihat ada 3 periode gelombang dominan yang terjadi sebelum melewati gelombang. Kemudian pada saat diantara celah *breakwater* dan setelah melewati *breakwater*, periode gelombang dominan bertambah. Hal ini menunjukkan periode gelombang dominan terpengaruh adanya *breakwater*, yang menyebabkan gelombang mengalami pembelokan (difraksi) maupun pantulan (refleksi) gelombang.

4. SIMPULAN

Dari hasil penelitian tentang kajian gelombang, dapat disimpulkan beberapa hal terkait dengan penelitian yang dilakukan yaitu sebagai berikut.

1. Hasil running keluaran program Sigerd memiliki nilai yang mendekati dengan hasil yang dipresentasikan oleh *Shore Protection Manual*, SPM (1984).
2. Hasil dari perambatan gelombang 2-D menggambarkan suatu pola perambatan gelombang yang terdifraksi akibat bangunan pemecah gelombang (*breakwater*) tipe tegak maupun trapesium. Perambatan gelombang terlihat berbeda satu dengan yang lainnya pada setiap skenario,
3. Terdapat perubahan tinggi puncak gelombang pada setiap skenario, pada masing-masing skenario mengalami perubahan tinggi puncak gelombang dengan hasil yang berbeda, pada umumnya perubahan tinggi puncak gelombang berangsur-angsur mengalami penurunan setelah melewati *breakwater*,
4. Spektrum yang dihasilkan, mengalami perubahan di setiap skenario. Perubahan jumlah untuk periode gelombang dominan yang terjadi bertambah setelah melewati posisi *breakwater*, ini menunjukkan adanya fenomena difraksi yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Dean, R. G. dan Dalrymple, R. A. 1994, *Water wave mechanics for engineers and scientists*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., S
- CERC. 1984, *Shore Protection Manual*, US Army Coastal Engineering Research Center. Washington. (SPM, 1984).
- Febrina, R., and Zakaria, A., 2009, *Analysis Wave Diffraction Using 2D Hyperbola Equation*. Department of Civil Engineering Faculty of Engineering Malahayati University.
- Reynolds, A. C., 1978, *Boundary conditions for the numerical solution of wave propagation problems*, Geophysics 43(6), 1099-1110.
- Stagonas, D. 2010, *Micro modeling of wave fields*. PhD. Thesis, University of Southampton.
- Syahputra, L., 2012, *Akustik Kelautan*, [online], (<http://lizanaueparanaue.blog.com/>, diakses tanggal 11 Juni 2014)
- Tarigan. A.P.M. dan Zein. A.S., 2005, *Analisa Refraksi Gelombang Pada Pantai*. Jurnal Teknik SIMETRIKA Vol. 4 No. 2 – Agustus: 345 – 351.
- Triatmadja, R., 2009, *Model Matematik Teknik Pantai Menggunakan Diferensi Hingga dan Metode Karakteristik*. Beta Offset Yogyakarta.
- Triatmodjo, B., 1992, *Metode Numerik*. Beta Offset Yogyakarta.
- Triatmodjo, B., 1999, *Teknik Pantai*. Beta Offset Yogyakarta.

- Vryonidi, M. 2011, *Wave Diffraction in Micro Models*. MSc. Thesis, University of Southampton.
- Yuwono, N. 1992, *Dasar-Dasar Perencanaan Bangunan Pantai Volume II*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM.
- Zakaria, A., 2003, *Numerical Modelling of Wave Propagation using Higher Order Finite-Difference Formulas*, Thesis (Ph.D), Curtin University of Technology, Perth, W.A.
- Zakaria, A., 2005, *Pemrograman Numerik menggunakan bahasa Fortran*, Teknik Sipil Universitas Lampung.

